

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ :

H04B 10/135, 10/18

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/03505

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

20. Januar 2000 (20.01.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01846

(22) Internationales Anmeldedatum: 24. Juni 1999 (24.06.99)

(30) Prioritätsdaten:

198 30 990.2

10. Juli 1998 (10.07.98)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NOE, Reinhold [AT/DE];
Helmerner Weg 2, D-33100 Paderborn (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AG; Postfach 22 16 34,
D-80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AU, BR, CA, CN, JP, RU, US,
europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI,
FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

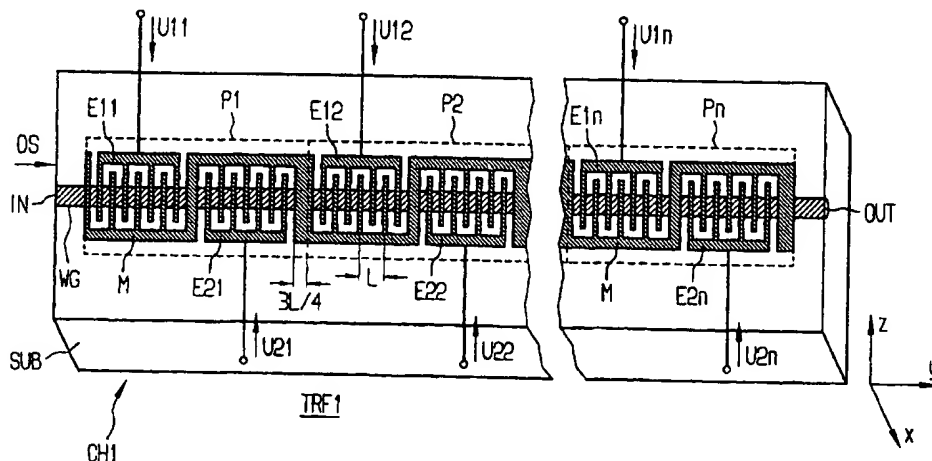
Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.

(54) Title: METHOD FOR COMPENSATING FOR POLARISATION MODE DISPERSION AND POLARISATION MODE DISPERSION COMPENSATOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR POLARISATIONSMODENDISPERSION-KOMPENSATION UND POLARISATIONSMODENDISPERSION-KOMPENSATOR



(57) Abstract

The polarisation transformer (TRF1) on a birefractive substrate material (SUB) has a greater number of cells (Pj), each with two mode converter electrodes (Eij, i=1, 2; j=1, 2,... n) which can be controlled individually or individually in more than two groups in order to compensate for polarisation mode dispersion.

(57) Zusammenfassung

Der Polarisationstransformator (TRF1) auf doppelbrechendem Substratmaterial (SUB) weist eine größere Anzahl von Zellen (P_j) mit jeweils zwei Modenwandler-Elektroden (E_{ij} , $i=1, 2$; $j=1, 2, \dots, n$) auf, die individuell oder in mehr als zwei Gruppen individuell ansteuerbar sind, so daß Polarisationsmodendispersion kompensiert werden kann.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Letland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Verfahren zur Polarisationsmodendispersion-Kompensation und
5 Polarisationsmodendispersion-Kompensator

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Polarisationsmoden-
dispersion-Kompensation nach Anspruch 1 und einen Polarisati-
onsmodendispersion-Kompensator nach Anspruch 5.

10

In der optischen Übertragungstechnik werden möglichst lange
Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken verwendet. Die Licht-
wellenleiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig
isotrop. Wegen der langen Übertragungsstrecken ergibt sich
15 durch Doppelbrechung der übertragenen optischen Signale eine
frequenzabhängige Polarisationsumwandlung - Polarisati-
onsmodendispersion oder kurz Polarisationsdispersion PMD ge-
nannt. Diese führt durch Änderung der Polarisation und der
dadurch bedingten unterschiedlichen frequenzabhängigen Lauf-
20 zeiten zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch emp-
fangsseitig deren Erkennbarkeit reduziert und dadurch die
übertragbare Datenrate begrenzt wird.

Die Polarisationsmodendispersion ist zudem von der Temperatur
25 oder von mechanischer Beanspruchung abhängig. Deshalb werden
adaptive PMD-Kompensatoren benötigt, die in den Übertragungs-
pfad eingefügt werden. Ein PMD-Kompensator soll bei minde-
stens einer optischen Trägerfrequenz im Bereich des Übertra-
gungsbandes das Polarisationsübertragungsverhalten des Ge-
30 samtsystems von Übertragungsstrecke und Kompensator näher-
ungsweise (in erster oder ggf. auch höherer Ordnung) fre-
quenzunabhängig machen. Dadurch können modulierte Signale
verzerrungsfrei übertragen werden.

35 Im Wellenlängenmultiplexbetrieb WDM ist es anzustreben, diese
Frequenzunabhängigkeit bei den einzelnen Übertragungsbändern
(Übertragungswellenlängen), zumindest in jedem der einzelnen

Kanäle zu erreichen. Anforderungen an einen solchen Transformator/Kompensator sind niedrige Einfügedämpfung, Kompatibilität zu Lichtwellenleitern, d.h. niedrige Koppeldämpfung und mechanische Kompatibilität, und ein möglichst variables ver-
5 änderbares und frequenzabhängiges Polarisationsverhalten.

Zum Entwickeln von PMD-Kompensatoren und zum Prüfen der PMD-Toleranz nicht kompensierter Übertragungssysteme werden variabel einstellbare aber trotzdem kostengünstige und dämpfungsarme PMD-Emulatoren gebraucht, welche das frequenzabhängige Polarisationsübertragungsverhalten von Lichtwellenleiter-Strecken bis zu mehreren tausend Kilometern Länge unter den unterschiedlichsten Bedingungen (beispielsweise bei Temperaturschwankungen) in signifikanter Weise nachbilden können.
10
15

Zur Kompensation von PMD eignen sich Kompensatoren, welche die inversen Übertragungseigenschaften einer Übertragungsstrecke aufweisen. Aus der Literatur sind Kompensatoren bekannt, die durch Retarder/Polarisationsrotatoren realisiert sind, die zwischen stärker doppelbrechenden LWL-Stücken angeordnet sind. Retarder ist ein Oberbegriff für optische Übertragungsglieder, die zwei zueinander orthogonale Eigenmoden unverändert und mit gleicher, im Idealfall verschwindender
20 Dämpfung, jedoch mit im allgemeinen unterschiedlichen Phasenverzögerungen übertragen.
25

Die stark doppelbrechenden LWL-Abschnitte erhalten oder bewahren zwei zueinander orthogonale Hauptpolarisationen und sind daher polarisationserhaltende Lichtwellenleiter PMF (polarization maintaining fiber). Diese PMF's sind stark polarisationsdispersiv, d.h. unterschiedliche Polarisationen führen zu stark unterschiedlichen Laufzeiten. Ein entsprechendes Beispiel ist im Tagungsband zur „Optical Fiber Communication Conference“, 1995, OFC'95, der Optical Society of America als
30 Beitrag WQ2 auf Seite 190 bis 192 beschrieben.
35

- Im „IEEE Journal of Quantum Electronics“, Band 18, Nr. 4, April 1982, Seite 767 bis 771 ist ein integrierter optischer Einseitenbandmodulator und Phasenschieber beschrieben. Dieser enthält auf einem Litiumniobat-Substrat eine sich über den
- 5 Chip hinziehenden kammförmige Masse-Elektrode und in Reihe liegenden kammförmige Elektroden, deren Zinken mit den Zinken der Masse-Elektrode verschachtelt sind und von denen jeweils jede zweite mit einer ersten Steuerspannung bzw zweiten Steu-
- 10 erspannung verbunden ist. Bei diesem Polarisationstransformator können nur die TE-TM-Modenwandlung mit $\pm 45^\circ$ linear bzw. mit zirkular polarisierten Eigenmoden vorgegeben werden. Der Anteil an TE-TM-Phasenverschiebung ist hier durch Chiplänge und Chiptemperatur vorgegeben und kann nicht durch eine elek-
- 15 trische Spannung verändert werden. Nachteil auch dieser Anordnung ist, daß eine vorgegebene Polarisationstransformation nur für eine bestimmte optische Frequenz wirksam wird, die Frequenzabhängigkeit von Polarisationstransformatoren also nicht frei vorgegeben werden kann.
- 20 In „IEEE Journal of Quantum Electronics“, Band 25, Nr. 8, 8. August 1989, Seite 1898 bis 1906 ist ein integrierter optischer Polarisationstransformator beschrieben, der als Substrat Lithiumniobat LiNbO_3 oder Lithiumtantalat LiTaO_3 verwendet. Dieser benötigt nur drei verschiedene Steuerspannungen,
- 25 eine Phasenschieberspannung und zwei Modenwandlerspannungen, um eine gewünschte Polarisationsänderung zu bewirken. Die Phasenschieberspannung bewirkt eine Phasenverzögerung zwischen TE(transversal elektrischen)- und TM(transversal ma-
- 30 gnetischen)- Wellen, diese sind gleichzeitig die Eigenmoden, **bewirkt jedoch keine Umwandlung ineinander.** Eine der beiden Modenwandlerspannungen bewirkt eine TE-TM-Modenwandlung mit linearer Polarisierung mit $\pm 45^\circ$ Erhebungswinkel als
- 35 Eigenmoden, die andere bewirkt eine TE-TM-Modenwandlung mit zirkularen Polarisierungen als Eigenmoden. Eine vorgegebene Polarisationstransformation wird jedoch nur für eine bestimmte optische Frequenz wirksam. Bei anderen optischen Frequenzen ergibt sich die Polarisationstransformation in Abhängig-

keit der für diese bestimmte optische Frequenz eingestellten Polarisations-
transformation.

Aus Proceedings of the Fourth European Conference on Integrated Optics ECIO 87, Glasgow, Scotland, Editors Wilkinson and Lamb, Seiten 115 bis 118 ist ein TE-TM-Transformator mit einfachen Elektrodenformen beschrieben.

Diese bekannten Anordnungen werden zur Polarisations-
transformation eingesetzt, beispielsweise als Polarisationskompensatoren in Empfängern. Sie sind nicht als PMD-Kompensatoren geplant.

In Electronics Letters, 17. Februar 1994, Band 30, Nr. 4, Seite 348 bis 349 ist ebenfalls ein Verfahren zur PMD-Kompensation beschrieben. Hier werden als Übertragungselemente mehrere Abschnitte polarisationserhaltender Faser (PMF) verwendet, die durch Polarisations-
transformatoren verbunden sind, und zur PMD-Kompensation ein Polarisations-
transformator mit nachgeschalteter polarisationserhaltender Faser. Die auftretende Dämpfung dürfte wegen der notwendigen Spleißverbindungen sehr hoch sein.

Hier ist auch der Anschluß eines PMD-Kompensators an einen optischen Empfänger und die Gewinnung eines Regelkriteriums zur Einstellung des Kompensators beschrieben. Eine funktionell ähnliche Einrichtung wurde auch im Tagungsband der OEC '94 (Makuhari Messe, Japan), Beitrag 14E-12, auf den Seiten 258-259 beschrieben.

In der Praxis beschränken sich die in den genannten Literaturstellen beschriebenen Kompensatoren auf sehr wenige Abschnitte PMF. Dadurch kann es bei der Optimierung des Regelkriteriums zu einem Nebenoptimum kommen, so daß der Kompensator nicht optimal eingestellt wird.

In der deutschen Patentanmeldung Aktenzeichen: 19816178.6 ist ein PMD-Kompensator beschrieben, der nur aus PMF's besteht. Allerdings werden mechanisch bewegte Teile benötigt.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, Verfahren zur PMD-Kompensation und einen PMD-Kompensator anzugeben, der über zahlreiche Einstellmöglichkeiten verfügt und innerhalb des genutzten Übertragungsbandes möglichst beliebige fre-
quenzabhängige Polarisations Transformationen zum Zweck der
10 gezielten Kompensation ermöglicht.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen PMD-Kompensator liegt in der universellen Anwendbarkeit. Das durch viele Parameter be-
stimmte Phänomen Polarisationsmodendispersion kann prinzipi-
15 ell auch nur durch geeignete Einstellmöglichkeiten entspre-
chend vieler Freiheitsgrade kompensiert werden. Durch die in-
dividuellen Steuerspannungen können so viele unterschiedliche
frequenzabhängige Polarisations Transformationen eingestellt
und im Betrieb durchgeführt werden, daß beliebige PMD auch
20 höherer als erster Ordnung mit sehr hoher Genauigkeit gebil-
det werden kann, sowohl zum Zwecke der PMD-Kompensation, als
auch der PMD-Emulation.

Weitere Vorteile sind die bei integrierten optischen Bauele-
25 menten übliche kleine Baugröße und die Tatsache, daß im er-
findungsgemäßen PMD-Kompensator die Funktionen der Polaris-
ationstransformation und der Erzeugung unterschiedlicher Lauf-
zeiten für unterschiedliche Polarisationen auf einem Bauele-
ment, einem Chip, integriert werden können.

30

Der PMD-Kompensator ist ebenfalls als PMD-Emulator oder auch
als Polarisationstransformator einsetzbar.

Varianten des PMD-Kompensators ermöglichen noch kompaktere
35 Bauweisen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen:

- 5
- Figur 1 den Aufbau eines erfindungsgemäßen Polarisationsmodendispersionskompensators,
- Figur 2 eine Variante mit sich überkreuzenden elektrischen Leitungen,
- 10 Figur 3 eine Variante mit senkrecht zur Wellenleiterichtung verlaufenden elektrischen Feldern,
- Figur 4 eine Variante mit gefaltetem Strahlengang,
- Figur 5 einen adaptiven Kompensator,
- Figur 6 einen Emulator,
- 15 Figur 7 eine Variante eines erfindungsgemäßen Polarisationsmodendispersionskompensators mit einem anderen Kristallschnitt,
- Figur 8 eine weitere Variante ohne Elektrodenüberkreuzungen,
- Figur 9 eine Variante mit zinkenloser Masseelektrode,
- 20 Figur 10 eine Variante mit optischen Verstärkern,
- Figur 11 ein Detail davon,
- Figur 12 eine Schnittdarstellung mit einem in ein Substrat eingebetteten Wellenleiter und
- Figur 13 eine Variante mit einem zweimodigen Wellenleiter.

25

Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen PMD-Kompensator TRF1. Dieser ist als Chip CH1 mit einem Lithiumniobat-Substrat SUB realisiert. Andere in Frage kommende Materialien sind Lithiumtantalat oder ähnliche hoch doppelbrechende Materialien.

30

Die kristallographischen Achsen Y und Z liegen in der Zeichenebene, die kristallographische Achse X geht in die Zeichenebene hinein. Auf der Oberfläche des Kristalls ist ein Wellenleiter WG durch Titandiffusion realisiert. Der Wellenleiter

35 WG ist einmodig, so daß TE(transversal-elektrische)- und TM(transversal-magnetische)-Wellen sich mit einer Brechzahl-differenz von etwa 0,07 ausbreiten können.

Auf der Oberfläche des Substrats SUB sind elektrisch leitfähige Interdigital-Elektroden aufgedampft, die die Form eines Kammes aufweisen, dessen Zinken (Stichleitungen, Finger) quer zum Wellenleiter angeordnet sind. Eine Elektrode M mit ebenfalls quer zum Wellenleiter angeordneten Zinken verläuft mäanderförmig über den gesamten Chip und kann an Masse gelegt werden (Masse-Elektrode). Die anderen kammförmigen Modenwandler-Elektroden E_{ij} ($i=1,2$; $j=1,2,\dots,n$) sind voneinander elektrisch isoliert. Eine Spannung U_{ij} an einer Elektrode erzeugt ein elektrisches Feld im Wellenleiter WG, das periodisch in Ausbreitungsrichtung Y oder entgegengesetzt hierzu verläuft. Direkt unter den Elektroden verläuft es periodisch in Richtung X oder entgegengesetzt hierzu. Die optische Welle bzw. das optische Signal OS durchläuft den Chip vom Eingang IN zum Ausgang OUT. Die Periodenlänge L zwischen den einzelnen Elektrodenzinken ist etwa gleich einer Schwebungswellenlänge zwischen TE- und TM-Welle gewählt. Eine Schwebungswellenlänge ist diejenige Länge, bei der der Retarder mit TE- und TM-Wellen als Eigenmoden gerade eine Phasenverzögerung von 360° zwischen diesen Eigenmoden aufweist. Bei Mischpolarisationen wiederholen diese sich deshalb periodisch in Abständen von Vielfachen einer Schwebungswellenlänge. Bei einer optischen Wellenlänge von 1550nm (Nanometer) entspricht die Schwebungswellenlänge im Lithiumniobat etwa $21\ \mu\text{m}$. Die Zinkenbreite (Fingerbreite) und die Elektrodenabstände werden deshalb zweckmäßigerweise jeweils etwa gleich $L/4$ gewählt. Damit erhält man eine gleichförmige Struktur, in welcher Zinkenbreiten und Zwischenräume gleich groß sind. Um eine TE-TM-Konversion mit variabler Phase durchführen zu können, sind jeweils nach einigen Zinkenperioden zusätzliche Abstände von abwechselnd etwa $L/4$ und $3L/4$ vorgesehen. Damit erhält man Phasenverzögerungen zwischen TE- und TM-Wellen von 90° bzw. 270° - durch letztere wird die erstere wieder rückgängig gemacht -, so daß sich TE-TM-Wandlung mit unterschiedlichem Phasenwinkel auswirkt. Dies wird jetzt näher erläutert: Bei einer reinen TE-Welle am Eingang des PMD-Kompensators oder

eines Teils davon ergibt sich auch am Ausgang eine reine TE-Welle, sofern an den Elektroden keine Steuerspannungen anliegen. Für geeignet gewählte Ansteuerspannungen werde die eingangsseitige TE-Welle in eine reine TM-Welle gewandelt. Verkleinert man diese Ansteuerspannungen, so ergibt sich am Ausgang eine Mischung aus TE- und TM-Wellen, deren Phasenunterschied frei wählbar ist. Insbesondere ergibt sich bei etwa halbierten Ansteuerspannungen ein Ausgangspolarisationszustand, der zwischen 45° linear, rechtszirkular, -45° linear, linkszirkular und wiederum 45° linear einstellbar ist. Die Masse-Elektrode M hat an diesen Stellen jeweils eine Gesamtbreite von etwa $L/2$, bzw. L (Die Masse-Elektrode zwischen den Moden-Elektroden und Zellen könnte im Prinzip auch schmaler gemacht werden oder durch Bonddrähte ersetzt werden).

Jeweils mindestens zwei Modenwandler-Elektroden $E1j$ und $E2j$, ($j = 1, 2, \dots, n$), einschließlich des zugeordneten, in Elektroden $E1j$ bzw. $E2j$ verzahnten Masse-Elektroden-Segments, können als Zellen Pj aufgefaßt werden. Eine Zelle kann ebenfalls - wie eine Modenwandler-Elektrode - als Modenwandler aufgefaßt werden. Sofern die Modenwandlerelektroden modulo einer halben Schwebungswellenlänge des Substratmaterials verschiedene Positionen aufweisen, handelt es sich dann um einen Modenwandler, bei dem nicht nur Stärke und Vorzeichen, sondern auch die Phase der Modenwandlung gewählt werden kann. Bei mit zwei Elektroden aufgebauten Zellen können diese mit einem Paar Steuerspannungen angesteuert werden, die von zwei Parametern abhängig sind. Die Ausführungsbeispiele beschränken sich auf derartige Zellen. Es sind prinzipiell aber unterschiedlich große mit unterschiedlichen und/oder unterschiedlich vielen Elektroden aufgebaute Zellen oder unterschiedliche Anordnungen der Modenwandler-Elektroden möglich. Jeder in doppelbrechendem Substratmaterial realisierter Polarisationstransformator kann eine Zelle sein.

Im Ausführungsbeispiel sind n Zellen vorgesehen, wobei als Anzahl n Werte von ca. 25 bis 50 realistisch sind. Die Span-

nungen an den Elektroden $E1j$ und $E2j$ der Zellen sind jedoch nicht jeweils identisch oder, wie in Proc. 4th European Conference on Integrated Optics (ECIO '87), Glasgow, UK, 11.-13.05.1987, S. 115-118 beschrieben als Funktion der longitudinalen Ortskoordinate sinusförmig variabel, sondern individuell oder in Gruppen frei einstellbar.

In Gruppen frei einstellbar bedeutet folgendes: Beispielsweise können Elektrodenspannungen von $U1j$, $U1(j+1)$, $U1(j+2)$, ... bis $U1(j+9)$, ($j= 1, 11, 21, \dots$) identisch sein, ebenso die Elektrodenspannungen $U2j$, $U2(j+1)$, $U2(j+2)$, ... bis $U2(j+9)$, ($j= 1, 11, 21, \dots$). Es werden also in diesem Beispiel die Elektroden des Typs $E1j$ von jeweils zehn benachbarten Zellen mit der gleichen Spannung versorgt, ebenso die Elektroden des Typs $E2j$ von jeweils zehn benachbarten Zellen. Dies ist durch leitende Verbindungen zwischen den Elektroden leicht zu realisieren. Eine Grenze der Variabilität des PMD-Kompensators ist durch die Spannungsfestigkeit der Elektrodenzwischenräume gegeben. Idealerweise sollten Polarisations Transformationen auf beliebig kurzer Länge ausgeführt werden können, wodurch aber entsprechend hohe Spannungen erforderlich sind. Daher ist bei der Herstellung auf hohe Spannungsfestigkeit zu achten. Diese kann beispielsweise durch Aufbringen von Isolierschichten auf die Kristalloberfläche erfolgen.

Während beim Stande der Technik durch zwei wählbare Modenwandler Spannungen oder Modenwandler Spannungsparameter nur eine Polarisations Transformation, welche zwei Freiheitsgrade besitzt, für eine optische Frequenz spezifiziert werden kann, während die Polarisations Transformationen für alle anderen optischen Frequenzen sich daraus ergeben, sind erfindungsgemäß durch Kaskadierung mehrerer Modenwandler-Elektroden, Zellen oder Zellengruppen, die individuell oder gruppenindividuell mit im allgemeinen je zwei wählbaren Modenwandler Spannungen angesteuert werden können, Polarisations Transformationen bei mehreren optischen Frequenzen in weiten Grenzen unabhängig voneinander vorgebbär. Dies gilt auch für die weiteren

Ausführungsbeispiele der Erfindung, wobei in dem in **Figur 3** dargestellten Beispiel statt zwei jeweils drei Ansteuerspannungen und damit drei Freiheitsgrade je Zelle vorgesehen sind. In jenem Beispiel betrifft der zusätzliche Freiheitsgrad jedoch nicht die Modenwandlung, sondern eine differenti-
5 elle Phasenverschiebung. Letztere kann zur Auswahl der Betriebswellenlänge dienen. Selbstverständlich beeinflusst sie auch die erzeugte oder kompensierte PMD, doch die in der Umgebung optimal eingestellter Betriebswellenlänge erzielbaren
10 Änderungen der PMD durch die differentielle Phasenverschiebung sind in der Regel auch durch Ansteuerung der Modenwandler Elektroden zu erreichen. Ein wesentlicher Grund für eine Verwendung auch differentieller Phasenverschiebung ist daher die Anpassung des PMD-Kompensators an die gewünschte Be-
15 triebswellenlänge.

Ein einziger Modenwandler, der in doppelbrechendem Substratmaterial realisiert ist und dessen Modenwandlungsphase durch zwei Parameter in Phase und in Quadratur einstellbar ist,
20 kann PMD nur in Sonderfällen günstig beeinflussen oder gar kompensieren. Für eine technisch sinnvolle PMD-Kompensation ist er nicht geeignet.

Erfindungsgemäß wird jedoch wenigstens ein weiterer Modenwandler hinzugefügt, der mindestens eine weitere Steuerspannung aufweist, wobei die insgesamt mindestens drei der Modenwandlung dienenden Steuerspannungen aller verwendeten Modenwandler durch mindestens drei Parameter bestimmt werden. Im
25 einfachsten Fall sind die Parameter identisch mit den verwendeten Steuerspannungen. Die sinnvolle untere Anzahl der Steuerspannungen liegt bei 4 bis 6, umfaßt also mindestens z.B.
30 zwei Zellen mit je zwei Modenwandler Elektroden. Zweckmäßige Ausgestaltungen arbeiten mit mindestens 10 unterschiedlichen Steuerspannungen.

Falls man bereit ist, eine kompliziertere Verdrahtung auf dem
35 Chip in Kauf zu nehmen, beispielsweise durch Überkreuzung elektrischer Leitungen, so kann mittels isolierender Zwischenschichten die Variante TRF2 nach Figur 2 realisiert wer-

den. Die Zinken der Moden-Elektroden E11 und E12; E21 und E22, ... bis En1 und En2 liegen hier jeweils nacheinander zwischen zwei Zinken der Masse-Elektrode M. Bei gleicher Maximalstärke des longitudinalen elektrischen Feldes kann diese Variante Polarisationsumformungen auf einer etwas kürzeren Strecke ausführen als der PMD-Kompensator nach Figur 1 und bietet daher eine größere Variabilität der Polarisationsumformung bei gleicher Gesamtlänge des Chips CH2. Die Periodizität der Elektrodenzinken beträgt weiterhin L. Deren Breite und die Abstände betragen etwa $L/6$. Es ist nicht erforderlich, größere Abstände bzw. Breiten der Masse-Elektrode einzuführen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel TRF3 des Transformators ist in Figur 3 dargestellt. Es kann auch vorteilhaft sein, eine transversalelektrische-transversalmagnetische Phasenverschiebung, wie aus „IEEE Journal of Quantum Electronics“, Band 25, Nr. 8, Seite 1898 bis 1906 bekannt, durch senkrecht zum Wellenleiter entlang der kristallographischen Z-Achse verlaufende elektrische Felder einzubringen. Vorteilhaft ist die dadurch erzielbare, durch drei Freiheitsgrade gekennzeichnete elliptische Polarisationsumformung, welche bei der Kompensation von PMD ein etwas leichter zu beherrschendes Regelverhalten bewirken kann und vor allem, wie oben erwähnt, eine Anpassung des PMD-Kompensators an die gewünschte Betriebswellenlänge bewirken kann, nachteilig sind dagegen die kleineren elektrooptischen Koeffizienten, die nur geringere Phasenverschiebungen ermöglichen. Die Zellen PPj ($j=1,2,...,n$) des Chips CH3 enthalten ebenfalls Modenwandler-Elektroden E11, E21, ..., die mit Spannungen U11, U21, angesteuert werden. Zwischen den Modenwandler-Elektroden sind Phasenschieber-Elektroden EP1, ... angeordnet, die mit Spannungen U3j ($j=1, 2,...,n$) angesteuert werden. Diese können individuell oder in Gruppen individuell frei gewählt werden, d.h. es können beispielsweise die Spannungen U3j, U3(j+1), U3(j+2), ... bis U3(j+9), ($j= 1, 11, 21,....$) der durch unterschiedliche Indizes j gekennzeichneten Gruppen innerhalb jeder Gruppe

identisch gewählt werden. Die Phasenschiebersektionen der Phasenschieberelektroden haben unterschiedliche Längen, die jeweils ein ganzzahliges Vielfaches der Schwebungswellenlänge um ein Viertel der Schwebungswellenlänge über- oder unterschreiten, also $L(N + \frac{1}{4})$ oder $L(K - \frac{1}{4})$, $N, K = 1, 2, 3, \dots$. Auf diese Weise bilden, wie schon in Figur 1, die kammförmigen Elektroden zwei Gruppen E11 bis E1n und E21 bis E2n, welche jeweils TE-TM-Wandlung mit gleicher Phase bewirken. Bei Bedarf können deshalb wiederum einige an einer Gruppe Elektroden benachbarter Zellen anliegende Spannungen, also beispielsweise U1,1 bis U1,10, U1,11 bis U1,20, ..., also U1j bis U1(j+9), $j = 1, 11, 21, \dots$) identisch sein, ebenso die Spannungen U2j bis U2(j+9), ($j = 1, 11, 21, \dots$). Sofern man diesen Vorteil nicht wahrnehmen möchte, können alle Elektroden, wie auch in Figur 1 oder 2 möglich, individuell angesteuert werden.

In der Integrierten Optik ist ein Wechsel zwischen verschiedenen Kristallschnitten und Materialien durchaus üblich. Beispielsweise wurde im IEEE J. Lightwave Technology, LT-5, Nr. 9, 1987, S. 1229-1238, in der dort vorhandenen Fig. 3 dargestellt, daß ein integriert-optisches Bauelement, dort ein Modulator, gleichermaßen mit X-Schnitt und mit Z-Schnitt ausgeführt werden kann. In jenem Beispiel wird beim Übergang von Z- zu X-Schnitt die Elektrodenkonfiguration gewechselt, weil weiterhin derselbe elektrooptische Koeffizient ausgenutzt werden soll und das elektrische Feld deshalb entlang derselben Kristallachse, in jenem Beispiel die Z-Achse, verlaufen soll.

Auch die Ausführungsbeispiele der Figuren 1 bis 3 können in analoger Weise abgewandelt werden, wie in Figur 7 dargestellt ist. In den Figuren 1 bis 3 sollen die Modenwandler Modenwandlung zwischen Z- und X-Polarisation durchführen. In Lithiumniobat erfolgt dies unter Verwendung des elektrooptischen Koeffizienten r_{51} durch ein mit der Schwebungswellenlänge L des doppelbrechenden Wellenleiters WG periodisches

quasistatisches elektrisches Feld in X-Richtung. Während die Figuren 1 bis 3 also beispielsweise unter Verwendung von Lithiumniobat mit X-Schnitt und Y-Ausbreitungsrichtung realisiert werden können, kann das Ausführungsbeispiel TRF5 der Figure 7 beispielsweise unter Verwendung von Lithiumniobat mit Z-Schnitt und Y-Ausbreitungsrichtung implementiert werden. Diese Orientierung der Kristallachsen ist in Figur 7 eingezeichnet. Während in den Figuren 1 bis 3 die auf der Zeichenebene senkrecht stehenden, also entlang der X-Achse verlaufenden periodischen elektrischen Felder die Modenkonversion zwischen X- und Z-Achse bewirken, sind es in Figur 7 die in der Zeichenebene transversal zum Wellenleiter WG verlaufenden, also wiederum entlang der X-Achse verlaufenden periodischen elektrischen Felder. Eine geeignete Anordnung als Ausschnitt des Substrats SUB zeigt die Figur 7. Dargestellt ist ein Modenwandler PMj ($j = 1 \dots n$), welcher bei gruppenindividueller Ansteuerung Teil eines größeren Modenwandlers ist. Auf jeder Seite des Wellenleiters WG sind kammförmige Elektroden EMC11j, EMC12j, EMC21j, EMC22j ($j = 1 \dots n$) angebracht. Die Elektroden EMC11j, EMC21j, EMC12j, EMC22j enden transversal etwa an den Rändern des Wellenleiters WG, um ein möglichst großes Überlappintegral von optischen und elektrischen Feldern zu erzielen. Zwischen Chipoberfläche und Elektroden sowie zur notwendigen Isolation zwischen sich überkreuzenden Elektroden können die üblichen isolierenden Pufferschichten, z.B. SiO₂, aufgebracht sein. Die Elektroden EMC11j, EMC12j auf einer Seite werden mit Modenwandlerspannungen V1j bzw. -V1j beaufschlagt. Die Elektroden EMC21j, EMC22j auf der anderen Seite werden mit Spannungen V2j und -V2j beaufschlagt. Sie sind gegenüber den Elektroden auf der vorgenannten Seite um ein Viertel $L/4$ einer Schwebungswellenlänge L des doppelbrechenden Kristalls SUB in Ausbreitungsrichtung Y verschoben. Bei anderen Abständen als $L/4$ entsprechen V1j und V2j nicht in Quadratur, sondern mit entsprechenden anderen Phasenwinkeln gegeneinander verschobenen Modenwandlungen. Auch die Elektrodenabstände auf einer Seite des Wellenleiters und die Elektrodenbreite betragen etwa $L/4$. Die

beiden kammförmigen Elektroden auf jeweils einer Seite sind durch eine isolierende Zwischenschicht an den Überkreuzungspunkten gegeneinander isoliert, besitzen Perioden von jeweils einer Schwebungswellenlänge L und sind gegeneinander um die Hälfte $L/2$ einer Schwebungswellenlänge L verschoben. Durch Modenwandlerspannungen V_{1j} und V_{2j} und die davon abhängigen invertierten Spannungen $-V_{1j}$, $-V_{2j}$ (d.h., die gegenüber den Spannungen V_{1j} und V_{2j} gerade entgegengesetzten Spannungen) kann Modenwandlung in Phase und in Quadratur ausgeübt werden, was endlose Polarisationsumwandlung und endlose Phasenverschiebung modengewandelter Signale erlaubt.

In einem anderen in **Figur 8** dargestelltem Ausführungsbeispiel TRF7, wird eine der Modenwandlerelektroden auf einer Seite des Wellenleiters weggelassen. Auf der anderen Seite werden beide Elektroden durch eine Masseelektrode EMC ersetzt. Zur Verbesserung der Effizienz kann die Elektrode EMC Nasen besitzen, welche den Wellenleiter überlappen, sie muß es aber nicht (**Figur 9**, TRF7). Die Anordnung hat den Vorteil, daß die verbleibenden Elektroden EMC11j, EMC21j, EMC überkreuzungsfrei sind. Dieses Ausführungsbeispiel eines Modenwandlers PMj ($j = 1 \dots n$) erlaubt Modenwandlung ebenfalls in beiden Quadraturen, aber nur dadurch, daß neben einer ersten Modenwandlerelektrode EMC11j mit Spannung V_{1j} noch eine zweite Modenwandlerelektrode EMC21j mit Spannung V_{2j} vorgesehen ist. Die beiden Elektroden sind um ein ungeradzahliges Vielfaches $3L/4$ eines Viertels $L/4$ einer Schwebungswellenlänge L in Ausbreitungsrichtung Y auf einem Chip SUB gegeneinander versetzt aufgebracht. Zur Erzielung großer in Phase und in Quadratur frei wählbarer Modenwandlungsgrade sind mehrere oder viele Modenwandler PMj ($j = 1 \dots n$), vorzugsweise mit Abständen von einem ganzzahligen (oder auch halbzahligen) Vielfachen der Schwebungswellenlänge L als Abstand zwischen einer Elektrode EMC11j und der entsprechenden Elektrode EMC11(j+1) des darauffolgenden Modenwandlers PM(j+1). Diese Kaskadierung erfolgt analog zu **Figur 1**.

Eine größere Bandbreite als in Lithiumniobat, allerdings bei geringerer Kompensationsmöglichkeit von PMD läßt sich z.B. durch Lithiumtantalat erreichen, welches eine geringere Doppelbrechung und demnach eine größere Schwebungswellenlänge L aufweist.

Eine alternative Ausführungsform von Modenwandlern, welche der Ausführungsform der Figuren 7 und 8 ähnelt, aber speziell für III/V-Halbleiter wie GaAs und InP verwendet werden kann, ist im Tagungsband zur European Conference on Integrated Optics ECIO 1987, Glasgow, 11.-13. Mai 1987, S. 115-118 und im Tagungsband zur European Conference on Optical Communications 1990, S. 309-312 beschrieben. In III/V-Halbleitern können auch optische Verstärker implementiert werden. Dies hat den Vorteil, daß die Dämpfung des PMD-Kompensators bereits auf dem Chip wieder ausgeglichen werden kann. Als nachteilig könnte man bewerten, daß die Verstärkung in III/V-Halbleitern i.a. polarisationsabhängig ist. Es ist jedoch möglich, beispielsweise durch unterschiedlich verspannte Quantentöpfe, Verstärker zu bauen, welche TE stärker als TM oder umgekehrt verstärken. Durch Kaskadierung zweier gegensätzlicher Verstärker, deren Verstärkung jeweils durch Pumpströme geregelt werden kann, kann so polarisationsunabhängige Verstärkung erreicht werden. Da auch die Dämpfung in III/V-Materialien stärker polarisationsabhängig ist als beispielsweise in Lithiumniobat, kann man jene Polarisationsabhängigkeit durch eine entgegengesetzte Polarisationsabhängigkeit des oder der eingebauten optischen Verstärker beheben.

Auch auf optischen Übertragungsstrecken gibt es polarisationsabhängige Verluste, auch genannt polarization-dependent loss, PDL. Sie entstehen beispielsweise durch polarisationsabhängige Isolatoren oder Koppler. Wirkt PDL in Anwesenheit von PMD, so entstehen Zusatzverluste bei der Übertragung. In einem speziellen Ausführungsbeispiel eines Polarisationsmodendispersionskompensators TRF8 sind gemäß **Figur 10** auf dem Substrat SUB deshalb neben Modenwandlern PHLj ($j = 1 \dots n$)

- auch optische Verstärker OV_j ($j = 1 \dots n$) vorgesehen. In Figur 11 sind als Detailausschnitt der Figur 10 ein bestimmter Modenwandler PHL_j und ein vor- oder nachgeschalteter optischer Verstärker OV_j gezeigt. Ersterer erhält Steuersignale $VPHL_{jp}$ ($j = 1 \dots n$; $p = 1 \dots f$). Der Index p mit einem Maximalwert f bezieht sich auf die Anzahl von in jeweils einem Modenwandler PHL_j verfügbaren Modenwandlersteuersignalen. Letztere erhalten Pumpsignale OVP_{mj} ($m = 1 \dots 2$; $j = 1 \dots n$).
- 10 Durch die Pumpsignalanschlüsse OVM_{1j} wird stärker die TE-, durch Pumpsignalanschlüsse OVM_{2j} wird stärker die TM-Verstärkung beeinflusst. Die Signale OVM_{1j} , OVM_{2j} können also durch geeignete Kombinationen, beispielsweise Linearkombinationen, von Signalen $OVMV_j$, $OVDV_j$ erzeugt werden, von denen
- 15 das eine, $OVMV_j$, wenigstens näherungsweise nur die mittlere Verstärkung und das andere, $OVDV_j$ wenigstens näherungsweise nur die differentielle TE-TM-Verstärkung beeinflusst. Diese Kombinationen können wie in Figur 10 gezeigt in einem beispielsweise aus Widerständen und Operationsverstärkern oder
- 20 durch ein Mikroprozessorprogramm implementierten Rechenwerk RW gebildet werden. Erfindungsgemäß läßt sich durch Variation der Signale $OVDV_j$ zusätzlich zu den Modenwandlersignalen $VPHL_{ij}$ der Modenwandler PHL_j neben PMD auch gleichzeitig vorhandenes PDL ausgleichen.
- 25 In diesem Ausführungsbeispiel können statt Reflektoren der Figur 4 so wie in Figur 10 gezeigt Krümmungen KR_1 , KR_2 des Wellenleiters WG zur Strahlumlenkung vorgesehen sein. Solche Krümmungen können, wie in Electronics Letters, 15. April 1999, Band 35, No. 8 auf S. 654 bis 655 dargestellt, durch
- 30 photonische Bandlückenmaterialien implementiert werden.

Die Kompensation oder Erzeugung von PDL zusammen mit der Kompensation oder Emulation von PMD ist übrigens nicht nur auf Halbleitermaterialien oder auf Materialien mit optischen Verstärkern beschränkt. Auch in passiven Materialien wie z.B. Lithiumniobat lassen sich dichroitische Elemente OV_j , wie z.B. alle polarisationsabhängigen Koppler, deren Kopplung

elektrooptisch verändert werden kann, oder polarisationsabhängige Interferometer so einsetzen, daß mittels Steuersignalen OVDVj die Differenz der Dämpfungen bestimmter orthogonal zueinander polarisierter Wellen, insbesondere TE und TM, eingestellt werden kann. In diesem Fall ist Figur 10 auch ein Blockschaltbild für solche Ausführungsbeispiele der Erfindung.

Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel TRF4 des PMD-Kompensators mit einem gefalteten Strahlengang des Wellenleiters WG. Die Enden eines Chips CH4 sind mit metallischen oder dielektrischen Spiegeln MI versehen. Kurz vor dem Auftreffen auf einen Spiegel ist der Wellenleiter WG gekrümmt, so daß eine möglichst ideale Reflexion und Einspeisung in den nächsten Abschnitt erfolgt. Die Verspiegelung kann durch Koppler ersetzt werden, in deren Mitte sich der Spiegel befindet. Dies setzt die Anforderungen an die Genauigkeit der longitudinalen Position der Spiegel MI herab, bewirkt aber bei nicht exakter Herstellung stärkere unerwünschte Reflexionen.

Im Bereich des Eingangs IN und des Ausgangs OUT sind die Wellenleiter-Enden unter einem Winkel von z.B. 6° bis 8° abgeschnitten, so daß ein sehr reflexionsarmer Übergang zwischen dem Wellenleiter WG und einem externen Quarzglas-Wellenleiter erfolgen kann. Das schräge Abschneiden könnte auch bei den Chips der Figuren 1 bis 3 eingesetzt werden. Auch sind andere reflexionsarme Übergänge wie eine dielektrische Entspiegelung möglich. Die einzelnen Zellen P1, P2, Pj, Pn können wie in den Figuren 1 bis 3 gestaltet sein.

Zu ergänzen ist noch, daß auch die Möglichkeit besteht, durch Temperaturänderung des Chips das Transformationsverhalten zu ändern. Wenn dieser Effekt nicht gewünscht wird, ist daher die Temperatur des Chips konstant zu halten oder durch die Einbeziehung in eine Regelung zu berücksichtigen.

Figur 5 zeigt die Verwendung als adaptiven PMD-Kompensator TR. Es ist eine Übertragungsstrecke mit einem optischen Sender TR, einer mit einem Lichtwellenleiter LWL realisierten Übertragungsstrecke und einem optischen Empfänger RX dargestellt. Der Empfänger enthält eine Fotodiode PD, der ein Entscheider DFF nachgeschaltet ist. Beim Ausgang OD des Entscheiders wird das übertragene Datensignal abgegeben.

Der Fotodiode ist der PMD-Kompensator zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion des optischen Signals OS vorgeschaltet. Weitere Details wie Verstärker wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Das Regelkriterium wird beispielsweise aus dem am Ausgang der Fotodiode abgegebenen Basisbandsignal BB gewonnen. Dies erfolgt beispielsweise über ein Filter FI1, das als Bandpaß mit einer Resonanzfrequenz von etwa der halben Symbolrate der übertragenen (binären) Daten ausgebildet ist. Dies ist dann zweckmäßig, wenn die maximal auftretenden PMD-Werte geringer als eine Symboldauer des Datensignals sind. Das Filter kann aber auch als Tiefpaßfilter ausgebildet sein, dessen Grenzfrequenz ca. $1/10$ bis $1/4$ der Symbolrate beträgt. Damit lassen sich auch größere PMD-Werte eindeutig detektieren. Hinter dem Filter ist ein erster Detektor DET1 angebracht, beispielsweise ein Gleichrichter. Die so gewonnene Detektorausgangsspannung U1 wird einem Regler MP zugeführt, vorzugsweise einem Mikroprozessor mit Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlern, sowie Operationsverstärkern zur Ansteuerung des PMD-Kompensators C.

Um sowohl kleine als auch große PMD-Werte eindeutig detektieren zu können, können auch weitere Filter und Detektoren FI2 und DET2 vorgesehen werden.

Bei Verwendung des Bandpaßfilters wird die Ausgangsspannung U1 dann maximal, wenn die Augenöffnung des Basisbandsignals BB maximal ist. Dies entspricht im Fall einer unverzerrten

optimalen Übertragung. Auch bei der Verwendung eines Tiefpaßfilters wird die Detektorausgangsspannung U_2 maximal, wenn die Augenöffnung des Basisbandsignals maximal ist.

- 5 Ausgangssignale des Reglers sind die Spannungen U_{ij} ($i=1, 2, 3$; $j = 1, 2, \dots, n$), die der PMD-Kompensator benötigt. Der Regler MP variiert die Spannungen U_{ij} einzeln oder in Gruppen. Es werden diejenigen Spannungen beibehalten, durch die sich die größtmöglichen Detektorausgangsspannungen erzielen lassen. Auf diese Weise wird die Polarisationsmodendispersion der Übertragungsstrecke durch den PMD-Kompensator optimal kompensiert.

15 Der Einsatz des PMD-Kompensators als Emulator EMU ist in Figur 6 dargestellt. Über eine Einstelleinrichtung ER erhält ein Mikroprozessor MP1 Signale, die er in entsprechende Steuerspannungen U_{ij} umsetzt. Die Steuerspannungen U_{ij} könnten in einer einfachen Version auch durch Potentiometer eingestellt werden.

20

Die von dem Sender TR eingespeisten optischen Signale werden transformiert am Ausgang OE eines Verstärkers OV abgegeben. Letzterer kann auch entfallen.

25 Außer den genannten Materialien Lithiumniobat, Lithiumtantalat und III/V-Halbleitern gibt es noch viele weitere Möglichkeiten zur Implementierung von PMD-Kompensatoren auf einem Chip oder Substrat SUB. Chip/Substrat können doppelbrechend sein, so daß der Wellenleiter WG doppelbrechend ist, doch Chip/Substrat können auch nicht doppelbrechend (isotrop) sein, sofern der Wellenleiter WG selbst aus doppelbrechendem Material besteht.

35 Beispielsweise kann der Wellenleiter WG aus einem Flüssigkristall oder einem flüssigen oder festen Polymer bestehen. Zur Herstellung wird ein Wellenleiterkanal in einem Substratmaterial abgeformt. Falls erforderlich, erfolgt eine anfängliche

Orientierung dieser Wellenleitermaterialien durch elektrische Felder.

Im Ausführungsbeispiel der Figur 12 ist ein Chip/Substrat
5 SUB, vorzugsweise aus Polymer, mit aufgelegter Deckplatte CD
im Querschnitt von einer Stirnfläche aus zu sehen. Die Kristallachsen X und Z des Wellenleiters WG liegen gemäß Figuren 1 bis 3 entspricht; letztere Figuren zeigen Ausführungsbeispiele gemäß Figur 11 in Aufsicht, bei Durchsicht durch den
10 Substratdeckel CD. Bei anderen Ausführungen, beispielsweise gemäß Figuren 7 bis 10, können die Kristallachsen auch anders liegen. Auch die Deckplatte CD kann aus Polymer sein; denkbar sind für Substrat und Deckplatte aber auch Materialien wie Quarzglas (Siliciumdioxid) und Silicium und andere optisch
15 gering dämpfende Materialien.
Die Herstellung von Wellenleitern und V-Nuten zur Lichtwellenleiterankopplung durch harte Stempel, die in Polymere eingedrückt werden, ist in Electronics Letters, 9. Juli 1998, Band 34, Nr. 14, Seiten 1396 bis 1398 angegeben sowie in den
20 dort erwähnten Literaturstellen.
Feste Polymere mit gutem elektrooptischem Koeffizienten r_{33} sind im Tagungsband der 24th European Conference of Optical Communications, Madrid, 20. bis 24. September 1998, Seiten 501 bis 502 angegeben. Für die hier geforderte Anwendung sind
25 allerdings andere elektrooptische Koeffizienten gefordert.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel gemäß Figur 11 besteht der Wellenleiter WG aus einem ferroelektrischen Flüssigkristall, welcher doppelbrechend ist. Der Wellenleiter ist in
30 einer Aussparung des Polymersubstrats an der Oberfläche des Polymersubstrats eingebracht. Die Fertigung der Aussparung kann durch einen Metallstempel bei der Fertigung des Substrats oder danach erfolgen. Auf der Deckplatte sind Elektroden ELij, M angebracht, beispielsweise durch Aufdampfen. Sofern ein beträchtlicher Teil des optischen Feldes in die Elektroden hinein ausstrahlt, was in der Zeichnung der Fall
35

ist, ist ein optisch verlustarmes Material wie Indium-Zinn-Oxid (ITO) für die Elektroden zu verwenden. Die Elektroden besitzen auch Zuleitungen, so daß an sie von außen eine Spannung angelegt werden kann.

- 5 Der ferroelektrische Flüssigkristall wird so orientiert, daß er ohne Anlegen elektrischer Felder zwischen den Elektroden für transversale elektromagnetische Felder in Z-Richtung (in der Zeichenebene des rechten Bildteils) eine andere Brechzahl besitzt als in X-Richtung (siehe linker Bildteil). Durch
10 elektrostatische Feldanteile in Y-Richtung ändern sich jedoch die Hauptachsen der Doppelbrechung. Die Winkeländerung der Hauptachsen wird als Tiltwinkel bezeichnet. Dieser läßt sich bei Clark-Lagerwall-Schaltern stark aber nicht hysteresefrei, bei deformed-helix ferroelektrischen Flüssigkristallen (DH-
15 FLC) ebenfalls stark und bei elektroklinen Flüssigkristallen (elektrokline FLC) schwächer, aber relativ schnell verändern. Für dieses Bauelement erscheinen elektrokline und DH-FLC die geeignetsten Kandidaten zu sein.

- Der elektrokline Effekts wird beispielsweise in den Physical
20 Review Letters, Band 38, 1977, ab Seite 848 beschrieben. Der deformed-helix ferroelektrische Effekt wird in Liquid Crystals, Band 5, 1989 ab Seite 1171 beschrieben. Eine breite Übersicht über ferroelektrische Flüssigkristalle bietet
"Ferroelectric Liquid Crystals - Principles, Properties and
25 Applications", Band 7 der Reihe "Ferroelectricity and Related Phenomena", Editor George W. Taylor, Gordon and Breach Science Publishers, ISBN 2-88124-282-0.

- Die weitere Funktion dieses Ausführungsbeispiels der Erfindung wurde schon in Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 3 beschrieben.
30

- Da der Brechzahlunterschied zwischen den beiden Eigenmoden (hier X-polarisiert und Z-polarisiert) größer sein kann als
35 in Lithiumniobat, erhält man bei gegebener Baulänge eine größere differentielle Gruppenlaufzeit, was zur PMD-Kompensation vorteilhaft ist. Ein weiterer Vorteil ist der große elektro-

optische Koeffizient von FLC. Dadurch können sehr wenige und/oder kurze Elektroden EL_{ij} eingesetzt werden, was deren Bandbreite vergrößert und beispielsweise eine Temperaturstabilisierung überflüssig machen kann.

5

Elektroden oder Elektrodenteile, auch im Fall anderer Elektrodenanordnungen als in den Figuren 1 bis 3, können auch auf dem Substrat SUB angebracht sein.

10 Ferner können zusätzliche Elektroden angebracht werden, welche eine anfängliche Polarisierung des Flüssigkristalls erleichtern. Um in X-Richtung verlaufendes elektrisches Feld zu erzeugen, sind in Figur 11 großflächige Elektroden PE1, PE2 auf den Außenseiten der Substrathälften SUB, CD vorgesehen oder das Bauelement ist auf eine oder zwischen zwei großflächige Elektroden aufzulegen. Auch die Belegung des Bodens des
15 Wellenleiters mit einer durchgehenden Elektrode ist möglich. Um ein in Z-Richtung verlaufendes Feld zu erzeugen, werden Elektroden links und rechts neben dem Wellenleiter auf den Substratteilen SUB oder CD vorgesehen. Im Fall ihrer Unter-
20 bringung auf Substratteil SUB kann die anfängliche Polarisierung auch ohne aufgelegtes Substratteil CD erfolgen, so daß die dort befindlichen Elektroden den Z-Verlauf des Polarisierungsfeldes nicht stören können.

Eine aussichtsreiche Möglichkeit zur Polarisierung besteht
25 darin, eine oder mehrere Wände des Wellenleiters chemisch, thermisch oder mechanisch zu behandeln oder zu beschichten. Weitere Gestaltungsfreiheiten ergeben sich durch den großen elektrooptischen Effekt in FLC. Die Elektrodenkämme können dadurch u.U. bis auf je eine Zinke abgemagert werden. Dadurch
30 vergrößert sich die optische Bandbreite. Eine weitere Folge des hohen elektrooptischen Koeffizienten ist, daß nur Teile des Wellenleiters zur Polarisationsstransformation benötigt werden, beispielsweise 10 bis 200 μm alle 100 bis 2000 μm . Dadurch können andere, z.B. stärker doppelbrechende oder
35 schwächer dämpfende Materialien für die zwischen Polarisationsstransformatoren liegenden Wellenleiterteile verwendet wer-

den. In Frage kommen feste oder flüssige Polymere, nematische Flüssigkristalle und ähnliche Materialien.

Bei Verwendung von Polymeren oder Silicium als Substrat können zur Verbindung der Erfindung mit Lichtwellenleitern aus Quarzglas V-Nuten eingeprägt bzw. anisotrop eingeätzt sein, welche eine aktive Justage erübrigen und so eine preisgünstige Herstellung ermöglichen. Die Technik zur Erzeugung von Wellenleitern auf Silizium oder in Quarzglas ist beispielsweise im Tagungsband der 24th European Conference of Optical Communications, Madrid, 20. bis 24. September 1998, Seiten 319 bis 328 und den dortigen Literaturstellen angegeben.

In den Ausführungsbeispielen der Figuren 1 bis 3 ist der elektrooptische Koeffizient r_{51} gefordert, welcher durch vertikales elektrisches Feld die Polarisation verändern kann. Ebenso verwendbar wäre r_{52} , welcher durch longitudinales elektrisches Feld verwendet wird. Durch Umorientierung von Kristallachsen kann man ggf. andere elektrooptische Koeffizienten verwenden, beispielsweise r_{42} oder r_{41} bei Y-Schnitt und X-Ausbreitungsrichtung, r_{43} oder r_{41} bei Z-Schnitt und X-Ausbreitungsrichtung, r_{53} oder r_{52} bei Z-Schnitt und Y-Ausbreitungsrichtung.

Bisher war im wesentlichen von doppelbrechenden Materialien zur PMD-Kompensation die Rede. Die Wellenleiterdoppelbrechung wird natürlich oft einfach durch Substratdoppelbrechung erreicht. Es reicht aus, wenn das Substratmaterial oder der Wellenleiter selbst doppelbrechend ist.

In einer Verallgemeinerung des Wirkungsprinzips eignet sich zur PMD-Kompensation oder -Emulation jede Anordnung, in welcher Modenwandlung zwischen zwei unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten aufweisenden Moden möglich ist, zur PMD-Kompensation. An die Stelle der Hauptpolarisationen (principal states-of-polarization) treten somit allgemein Hauptmoden. Es sind dies diejenigen Moden, welche die größt-

mögliche Gruppenlaufzeitdifferenz aufweisen. Bei longitudinal homogener Ausführung sind Hauptmoden (und Hauptpolarisationen) identisch mit den Eigenmoden.

Im Ausführungsbeispiel TRF9 der Figur 13 ist ein Lithiumni-
5 obatkristall mit X-Schnitt und Z-Ausbreitungsrichtung dargestellt. Auch andere Kristallschnitte oder Materialien sind möglich. Er weist einen zweimodigen Wellenleiter WG auf. Der Wellenleiter WG enthält seinerseits zwei Wellenleiter WG1, WG2. Sie sind unterschiedlich breit, so daß sie unterschied-
10 liche Gruppenlaufzeiten aufweisen. Sie verlaufen in protonen- ausgetauschtem Material, so daß in WG1, WG2 jeweils nur eine Polarisation ausbreitungsfähig ist und somit WG nur zweimodig ist, nämlich seine beiden Hauptmoden führt. Über WG verteilt sind Modenwandler ($P_1, \dots, P_j, \dots, P_n$). Diese besitzen in die-
15 sem Kristallschnitt jeweils zwei im wesentlichen parallel zu den Wellenleitern WG1, WG2 verlaufende Elektroden E_{1j}, E_{2j} ($j = 1 \dots n$). Sie erzeugen im Bereich von WG1, WG2 jeweils horizontale elektrische Felder, wodurch eine differentielle Phasenverschiebung zwischen den beiden Wellenleitermoden bewirkt
20 wird. Durch Änderung der Steuerspannung zwischen den Elektroden E_{1j}, E_{2j} wird deshalb die Kopplung zwischen den beiden Wellenleitern verändert, so daß sich die Wellenleitermoden mehr oder weniger stark ineinander umwandeln lassen. Um PMD zu kompensieren, sind der Anordnung Polarisationsstrahlteiler
25 PBS5, PBS6 vor- bzw. nachzuschalten.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Kompensation von Polarisationsmodendispersi-
on (PMD), bei dem einer Anordnung mit einem Lichtwellenleiter
(WG) mit zwei unterschiedliche Ausbreitungskonstanten aufwei-
senden Hauptmoden und mehreren zur Umwandlung der Hauptmoden
10 des Wellenleiters ineinander dienenden elektrooptischen Mo-
denwandlern ($P_1, \dots, P_j, \dots, P_n$; E_{11}, E_{21}, \dots) ein zu kompen-
sierendes optisches Signal (OS) zugeführt wird und mehr als
zwei elektrooptischen Modenwandlern ($P_1, \dots, P_j, \dots, P_n, E_{11},$
 E_{21}, \dots) oder mehr als zwei Gruppen von Modenwandlern indivi-
15 duell mit mehr als zwei von mehr als zwei Parametern bestimm-
ten Steuerspannungen derart angesteuert werden, daß die Pola-
risationsmodendispersion des optischen Signals (OS) kompen-
siert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß die beiden Hauptmoden orthogonale Hauptpolarisationen
sind und der Wellenleiter (WG) doppelbrechend ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß bei einer Anordnung mit zusätzlichen differentiellen Pha-
senschiebern (EP_1, \dots, EP_n) auch diese einzeln und/oder in
Gruppen individuell derart angesteuert werden, daß die Pola-
risationsmodendispersion kompensiert wird und/oder die Be-
30 triebswellenlänge ausgewählt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß in einer Empfangseinrichtung (RX) zur Kompensation minde-
35 stens eine als Regelkriterium verwendete Spannung (U_1, U_2)
durch Filtern und Gleichrichtung des Basisbandsignals (BB)
gewonnen wird.

5. Polarisationsmodendispersion(PMD)-Kompensator (TRF1 ... TRF8) mit einem Wellenleiter (WG) mit zwei unterschiedliche Ausbreitungskonstanten aufweisenden Hauptmoden, der von einem optischen Signal (OS) durchlaufen wird, mit mehreren zur Umwandlung der Hauptmoden des Wellenleiters ineinander dienenden elektrooptischen Modenwandlern ($P_1, \dots, P_j, \dots, P_n$; E_{11}, E_{21}, \dots), von denen mehr als zwei elektrooptische Modenwandler ($P_1, \dots, P_j, \dots, P_n, E_{11}, E_{21}, \dots$) oder mehr als zwei Gruppen von Modenwandlern zur Kompensation der Polarisationsmoden-dispersion ansteuerbar sind.
6. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF8) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Modenwandler eine Modenwandler-Elektrode ($E_{ij}, EMCK_{ij}$; $k=1,2$; $i=1,2$; $j=1,2,\dots,n$; M, EMC) ausgebildet enthält, die kammartig mit quer zum Wellenleiter (WG) verlaufenden Zinken ausgebildet ist.
7. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF5) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils Zellen (P_j) aus mindestens zwei Modenwandler-Elektroden (E_{ij} ; $i = 1, 2$; $j = 1, 2, \dots, n$) gebildet sind.
8. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF4) nach einem der Ansprüche 6 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen aufeinanderfolgenden Modenwandler-Elektroden (E_{1j} und E_{2j} , bzw. E_{2j} und $E_{1(j+1)}$) wechselnde Abstände vor-gesehen sind.
9. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF5) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils die Zinken mindestens zweier Modenwandler-Elektroden ($E_{12}, E_{22}, \dots, E_{ij}$; $i = 1, 2$; $j = 1, 2, \dots, n$) einer Zelle (P_j) ineinandergreifen.

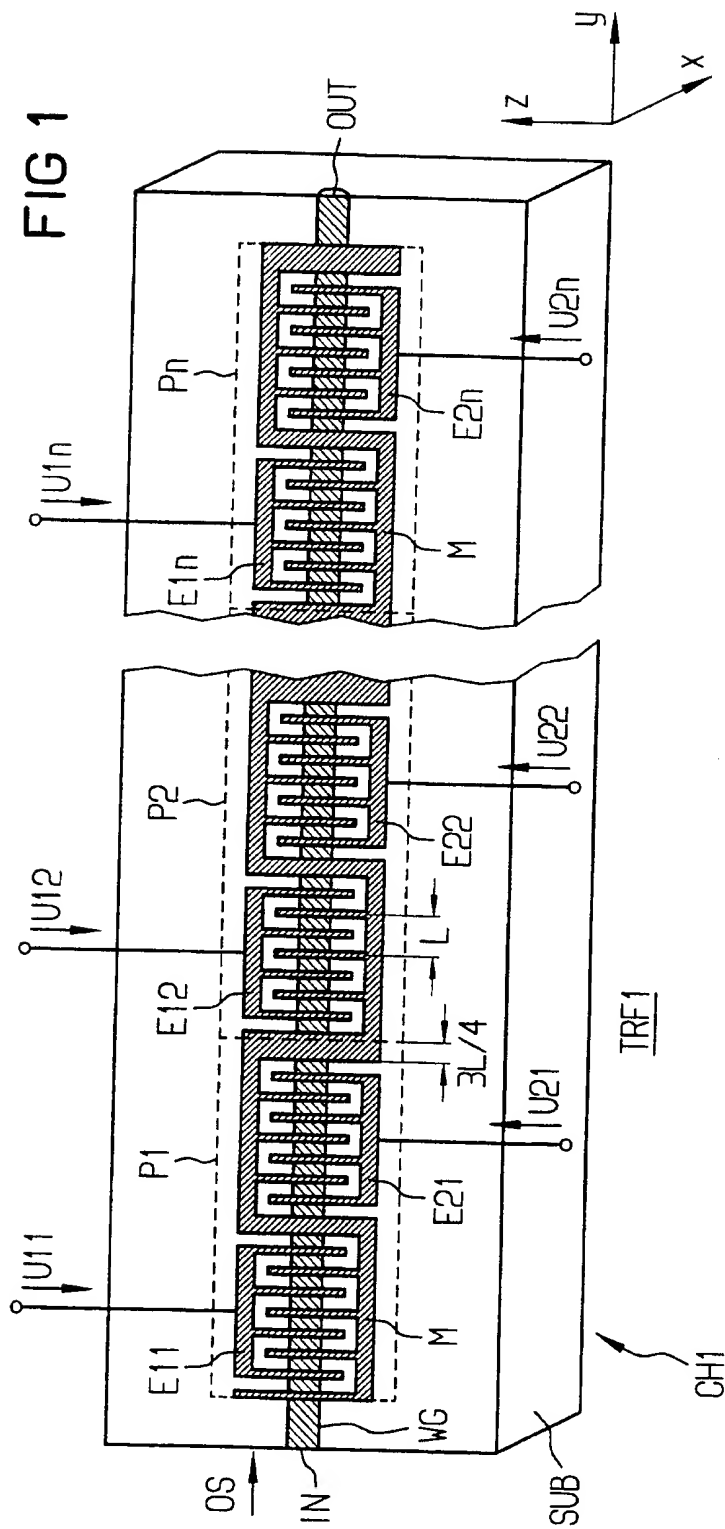
10. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
5 daß eine ebenfalls kammartig ausgebildete Masse-Elektrode (M) vorgesehen ist, wobei deren Zinken und die Zinken der Modenwandler-Elektroden (E12, E22, ...Eij; $i = 1, 2$; $j = 1, 2, \dots, n$) ineinandergreifen.
- 10 11. PMD-Kompensator (TRF2) nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß jeweils in einer Zelle (PVj) aus zwei Modenwandler-Elektroden (Eij, $i = 1, 2$; $j = 1, 2, \dots$, zwischen zwei Zinken der Masse-Elektrode (M) zwei Zinken - je eine von jeder
15 Modenwandler-Elektrode (E1j und E2j) - angeordnet sind.
12. PMD-Kompensator (TRF3) nach einem der Ansprüche 5 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
daß zwischen den Modenwandler-Elektroden (E1j, E2j) breitere
20 Phasenschieber-Elektroden (EPj) angeordnet sind, die individuell oder in mehreren Gruppen gruppenindividuell ansteuerbar sind.
13. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach Anspruch 12,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß eine Phasenschieber-Elektrode (EPj) jeweils einen Bereich zwischen den Modenwandler-Elektroden einer Zelle und einen Bereich zwischen zwei Zellen (P1, P2; ...) umfaßt.
- 30 14. PMD-Kompensator (TRF6) nach einem der Ansprüche 5 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
daß er mindestens einen optischen Verstärker (OVj; $j=1 \dots n$) aufweist.
- 35 15. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach einem der Ansprüche 5 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,

daß ein dichroitisches Element (OVj; $j=1\dots n$) vorgesehen ist, welches eine regelbare Differenz der Verstärkungen oder Dämpfungen zweier orthogonaler Polarisationen aufweist.

- 5 16. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch die Regelung einer Differenz der Verstärkungen oder
Dämpfungen zweier orthogonaler Polarisationen polarisations-
abhängige Dämpfung oder Verstärkung eines optischen Mediums
10 ausgleichbar ist.
17. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach einem der Ansprüche 5 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
15 daß er als Chip oder auf einem Substrat (SUB) aus Lithiumini-
obat, Lithiumtantalat, III/V-Halbleitern, Silicium, Silicium-
dioxid oder Polymer realisiert ist.
18. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach Anspruch 17,
20 dadurch gekennzeichnet,
daß der Wellenleiter (WG) ein Polymer oder einen Flüssigkri-
stall enthält.
19. PMD-Kompensator (TRF4) nach einem der Ansprüche 5 bis 18,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß der Wellenleiter (WG) mindestens einmal durch Reflexion
gefaltet ist.
20. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach einem der Ansprüche
30 5 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
daß er in einer Empfangseinrichtung (RX) vorgesehen ist und
daß mindestens eine als Regelkriterium verwendete Spannung
(U1, U2) durch Filtern und Gleichrichtung des Basisbandsi-
35 gnals (BB) gewonnen wird.

21. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF6) nach einem der Ansprüche
5 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
daß er als extern einstellbarer Emulator (EMU) vorgesehen
5 ist.

22. PMD-Kompensator (TRF1 ... TRF8) nach einem der Ansprüche
5 bis 21, dadurch gekennzeichnet,
daß die beiden Hauptmoden orthogonale Hauptpolarisationen
10 sind und der Wellenleiter (WG) doppelbrechend ist.



2/11

FIG 2

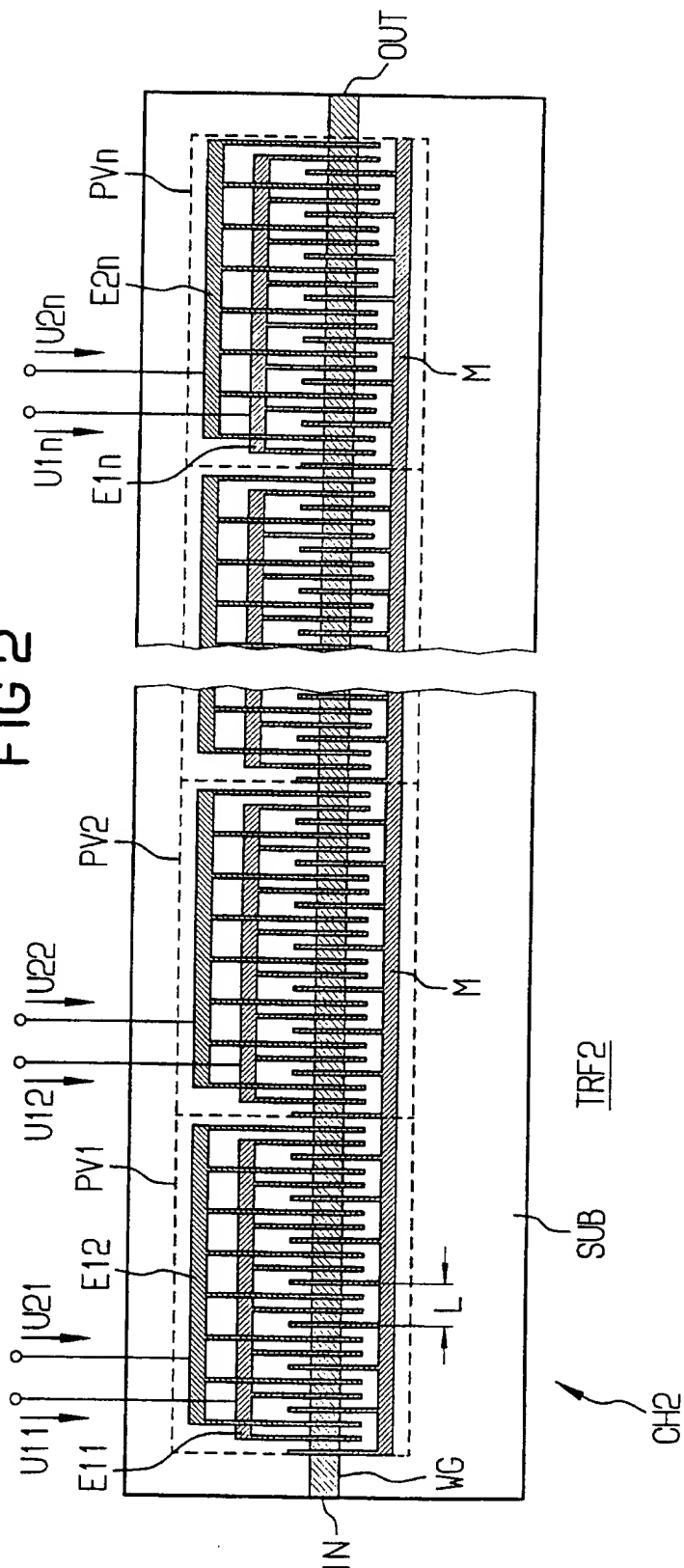
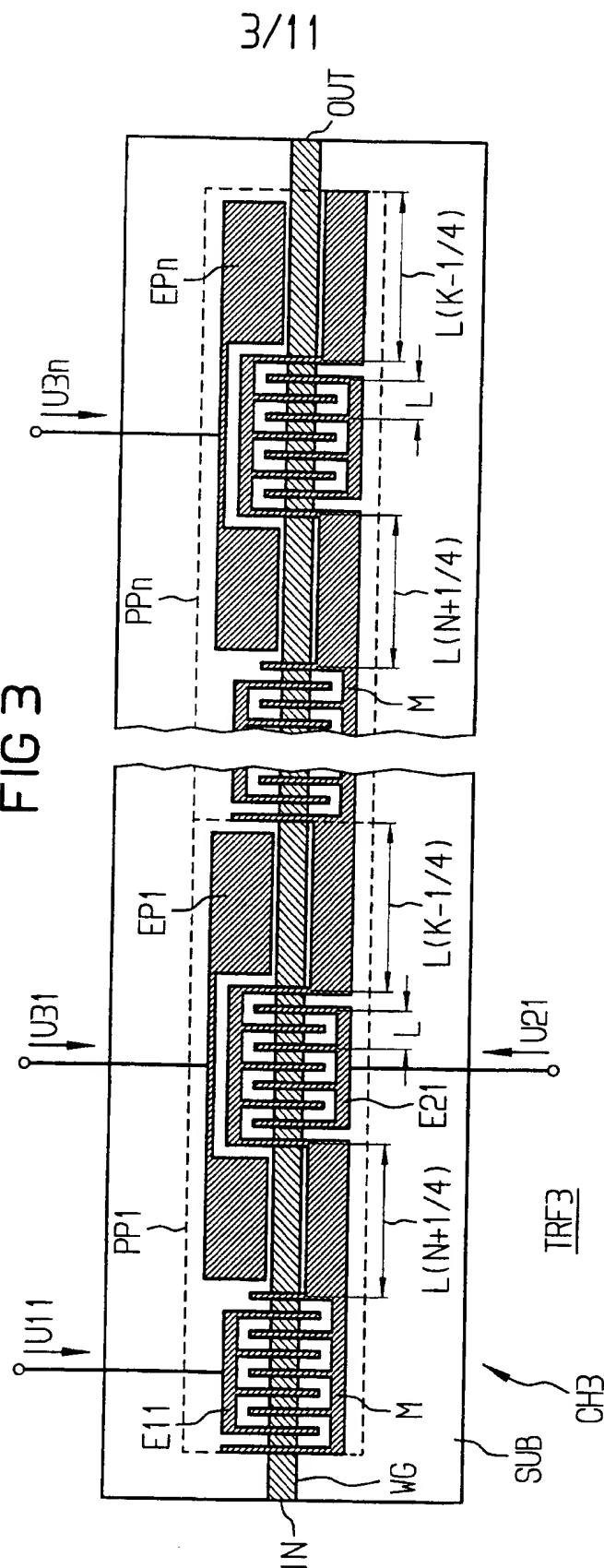
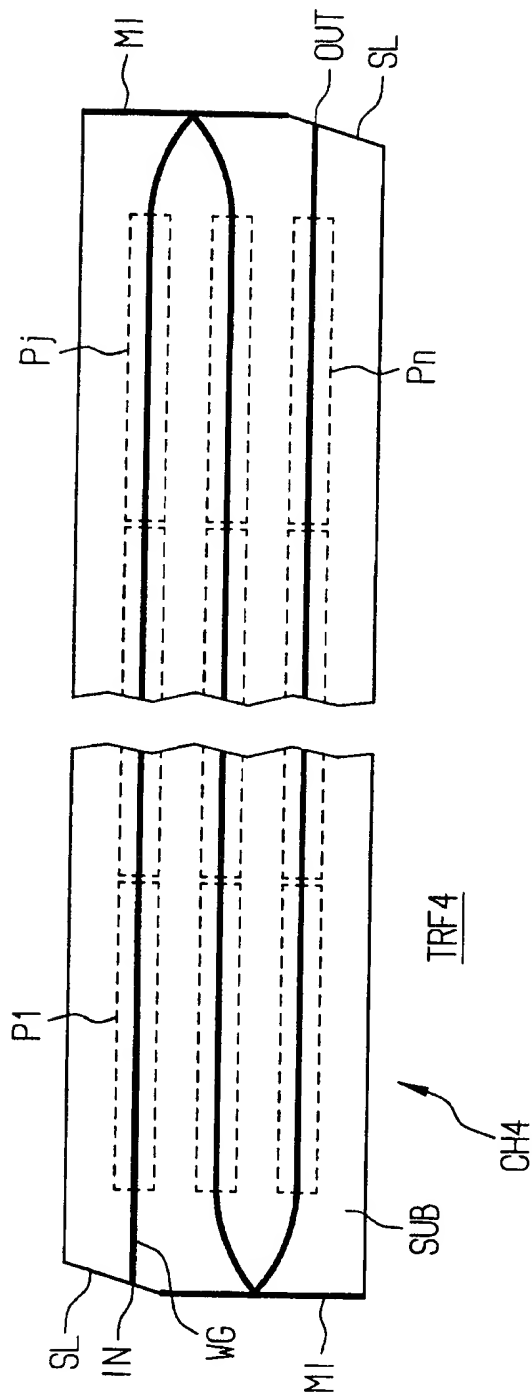


FIG 3



4/11

FIG 4



5/11

FIG 5

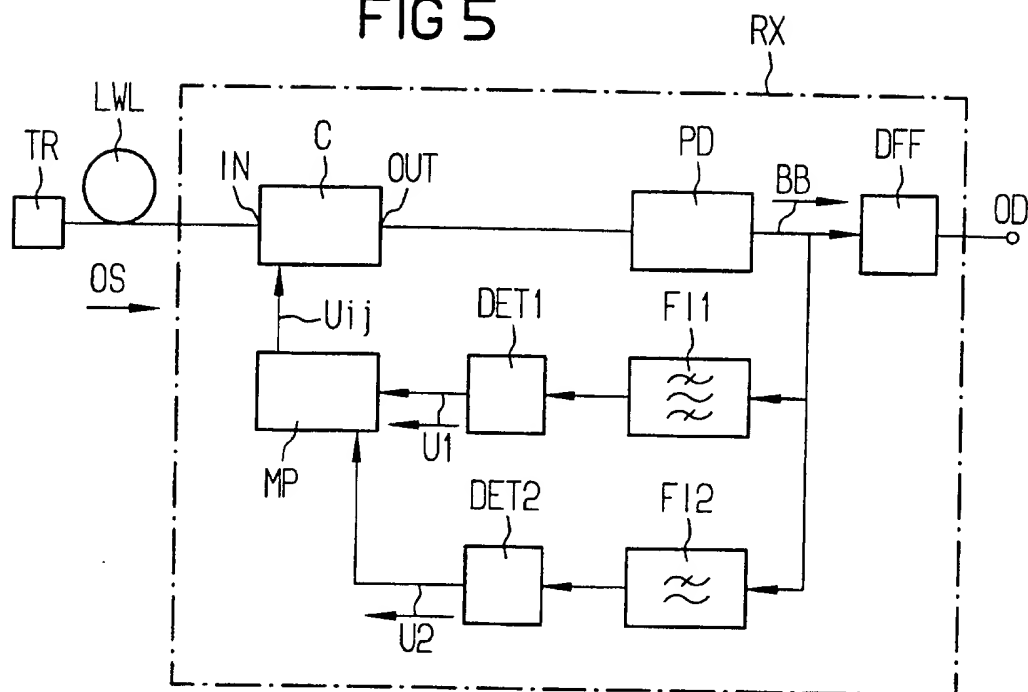
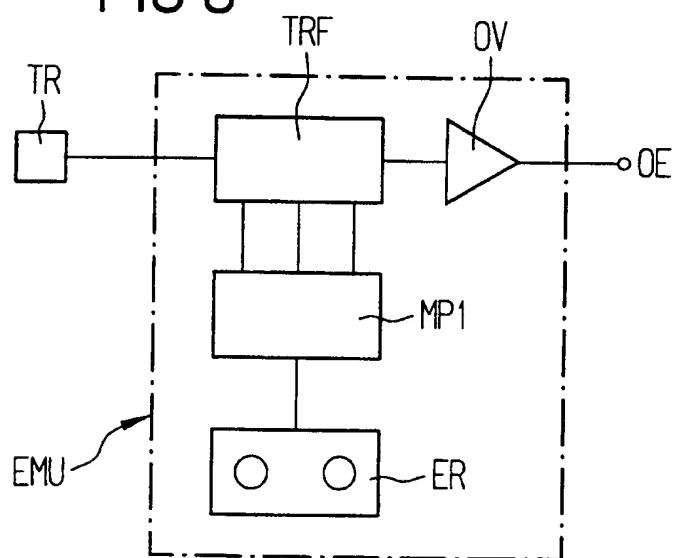
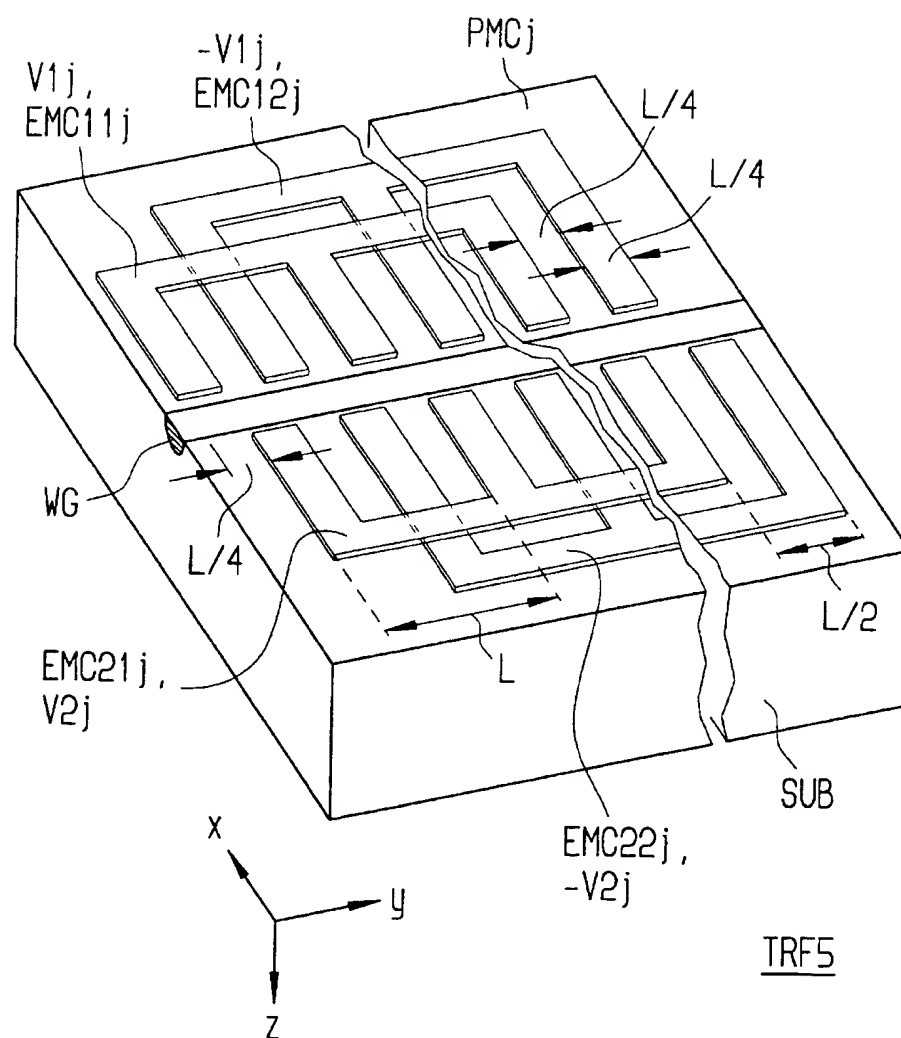


FIG 6

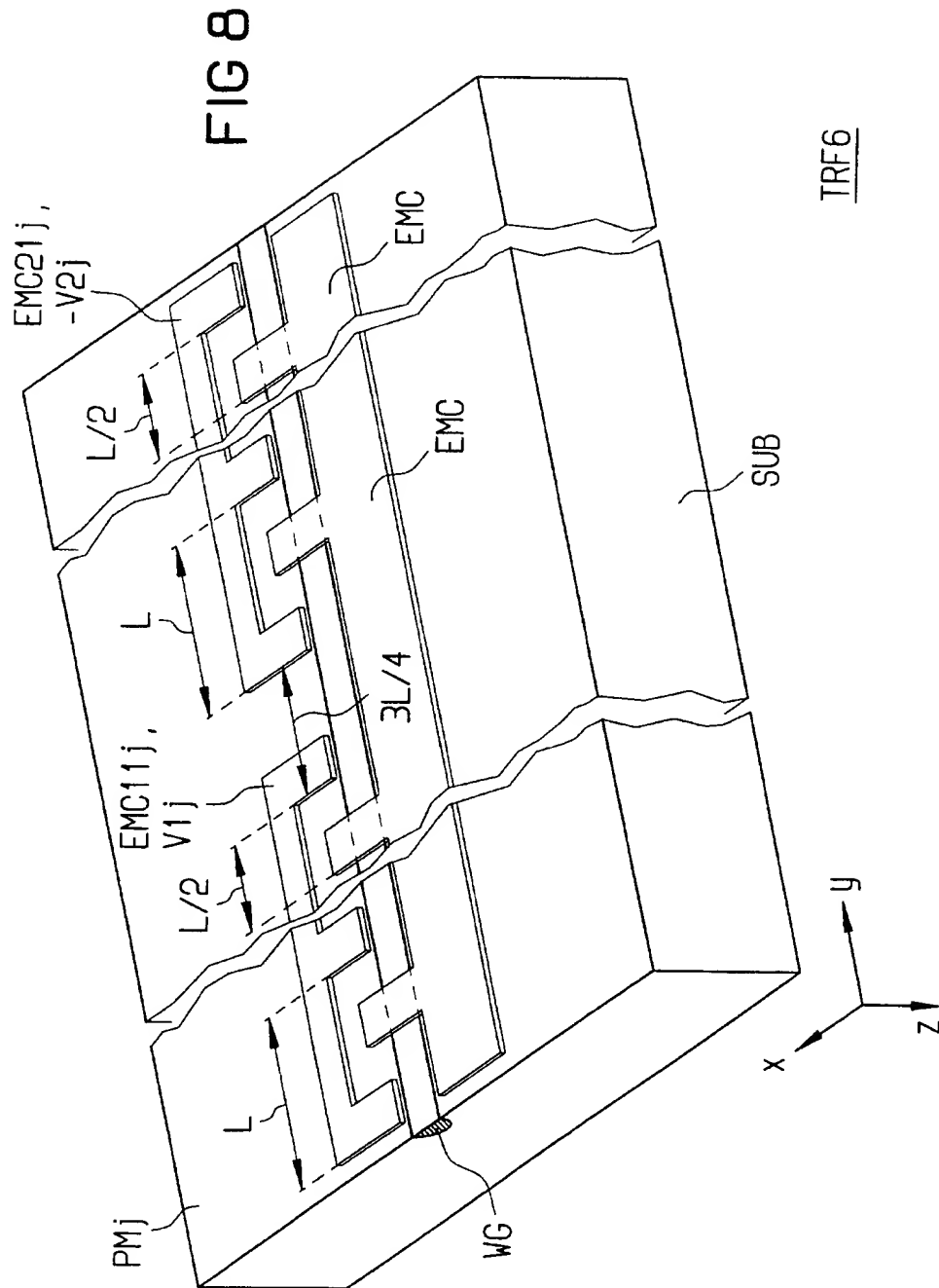


6/11

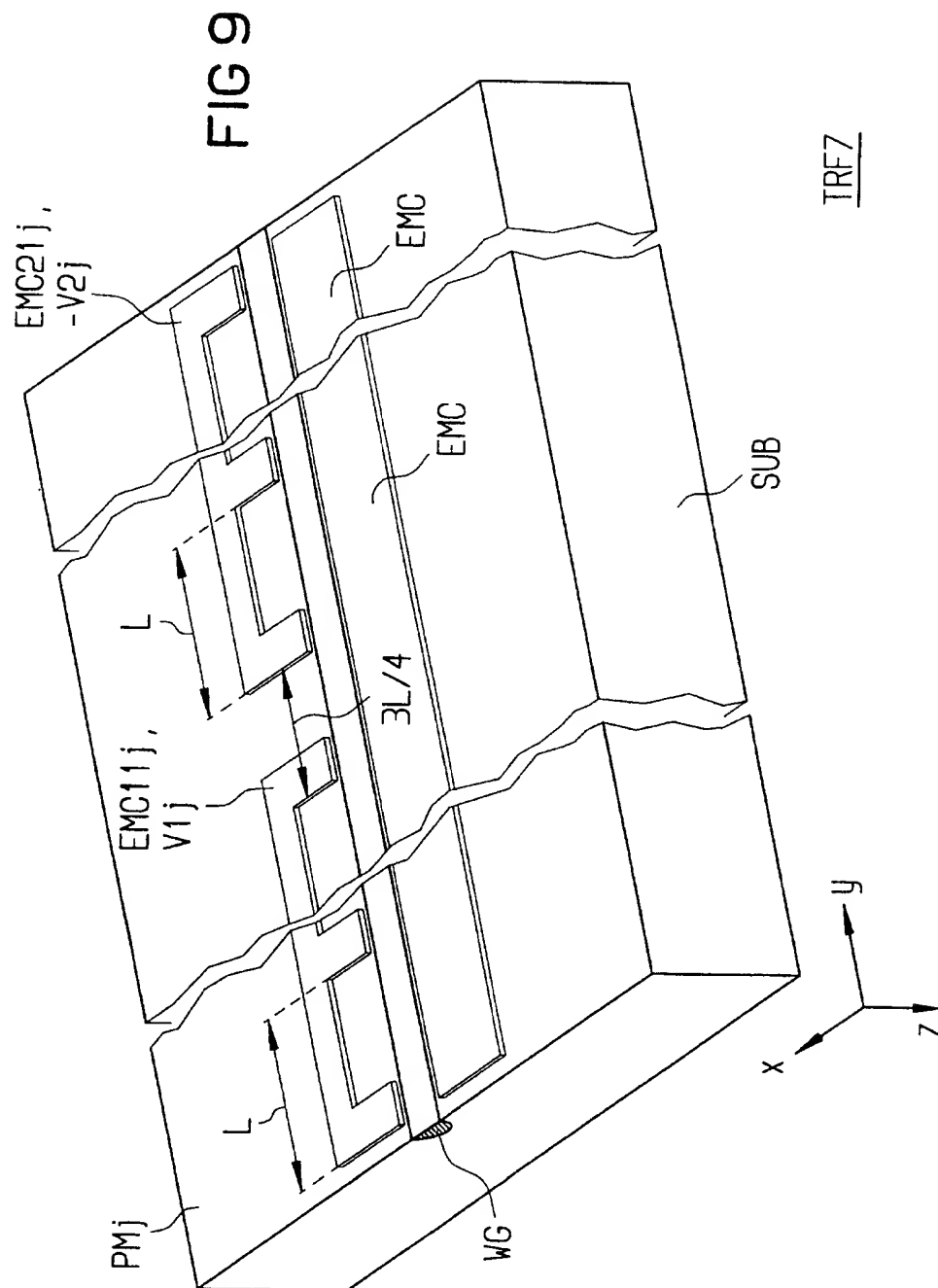
FIG 7



7/11

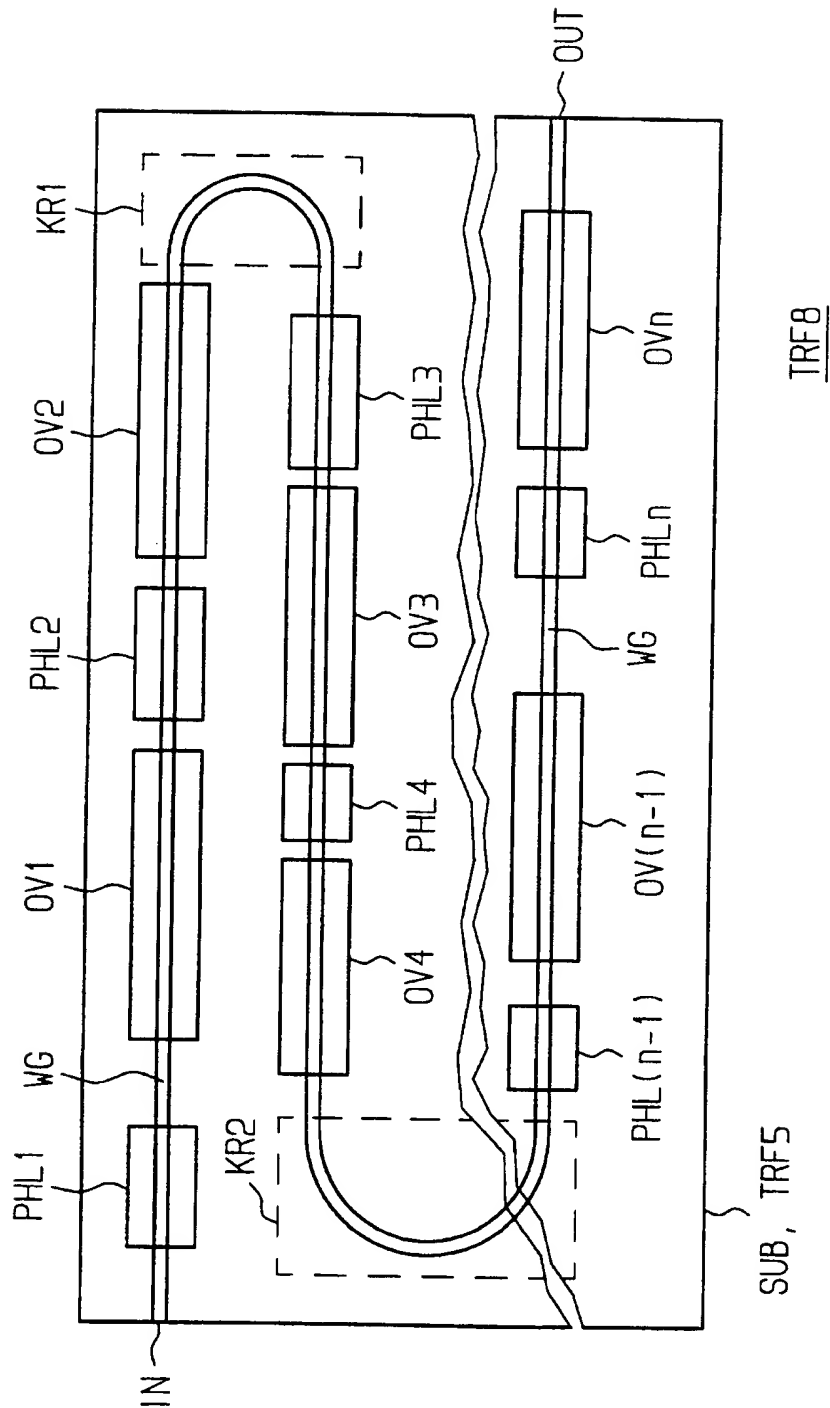


8/11

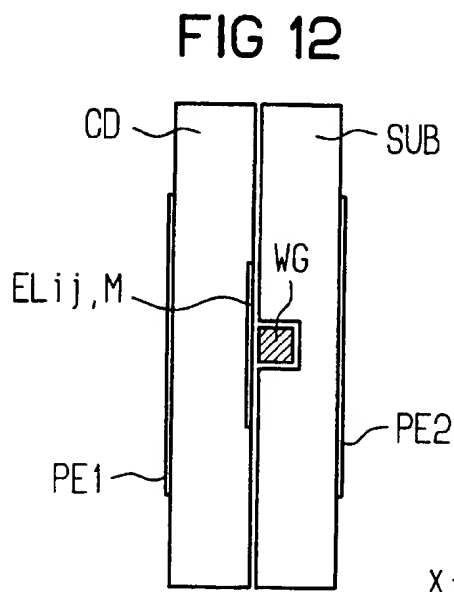
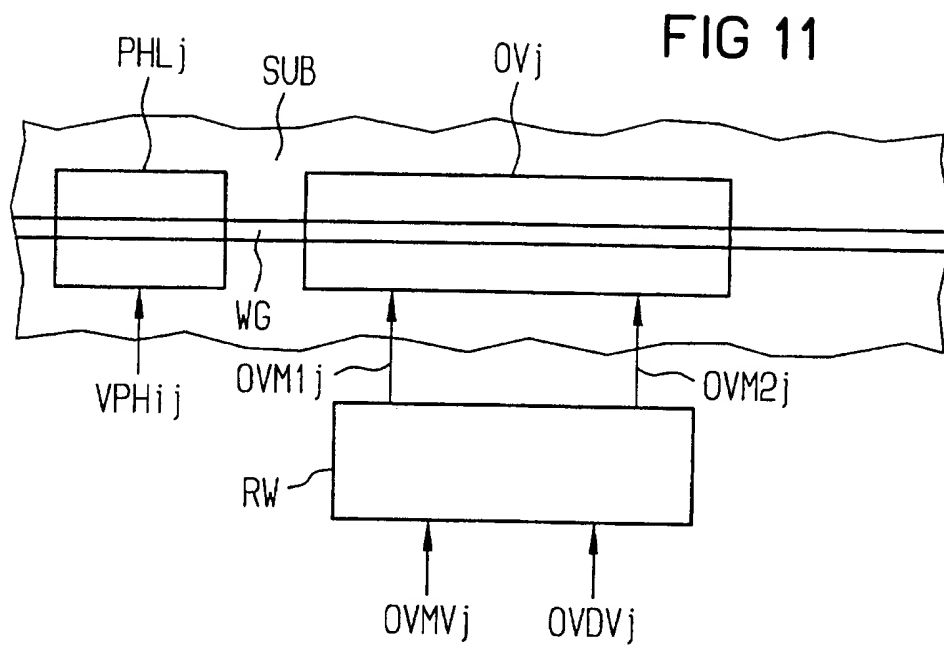


9/11

FIG 10

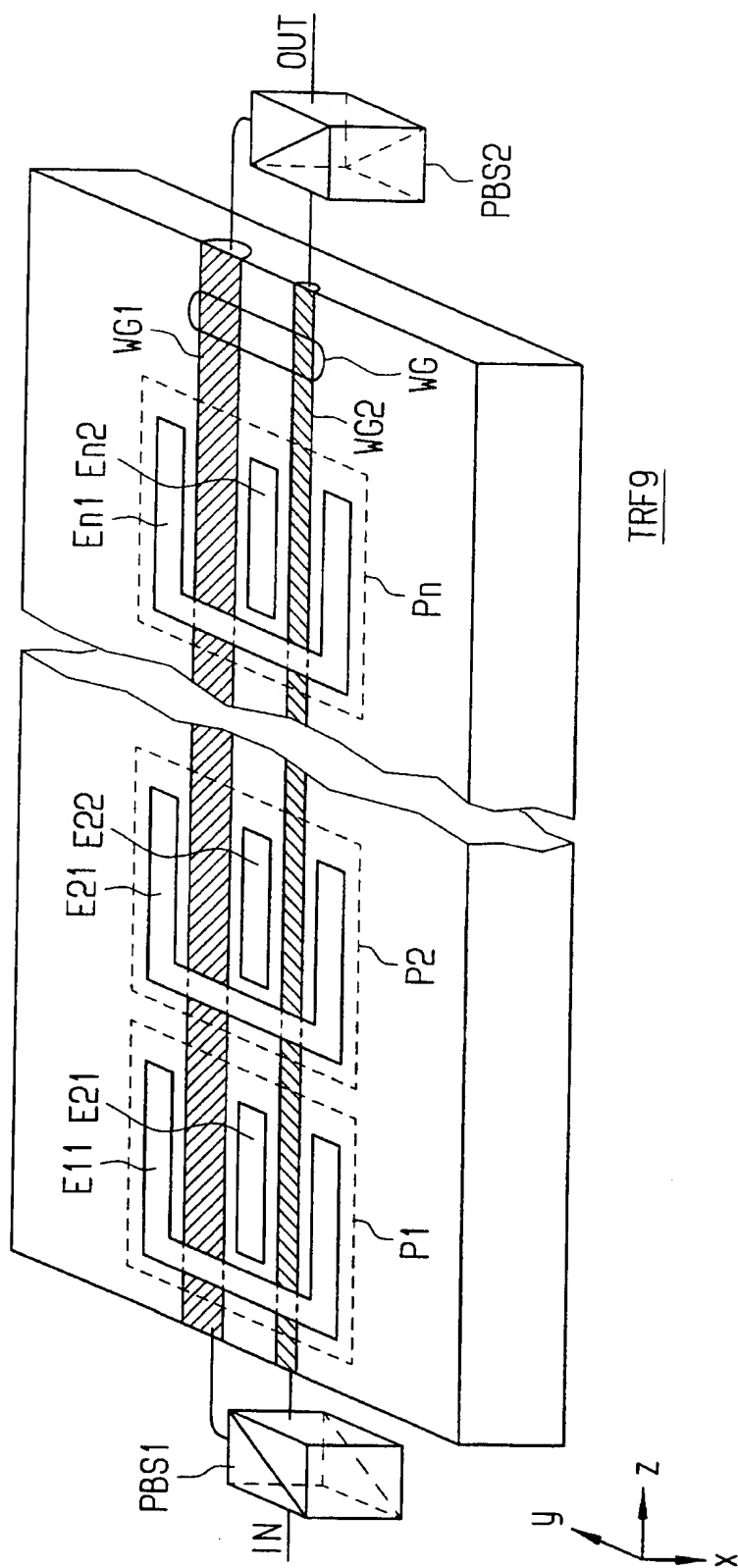


10/11



11/11

FIG 13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In ☐ National Application No

PCT/DE 99/01846

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04B10/135 H04B10/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 95 34141 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 14 December 1995 (1995-12-14) abstract; figures 1,2,5 ----	1,2,5,6, 22
A	EP 0 716 516 A (AT & T CORP) 12 June 1996 (1996-06-12) abstract; claims 1,8; figure 1 ----	1-3,5, 12,22
A	FR 2 758 029 A (ALSTHOM CGE ALCATEL) 3 July 1998 (1998-07-03) abstract; figures 1,2 page 2, line 17 - line 28 ----	1,2,5,22
A	US 5 473 457 A (ONO TAKASHI) 5 December 1995 (1995-12-05) abstract; claims 1,4; figures 1,2 -----	1,2,5, 14,22

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 November 1999

Date of mailing of the international search report

02/12/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Goudelis, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE99/01846

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Us 5 473 457 A (ONO TAKASHI) 5 th December, 1995 (1995-12-05) Abstract; Claim nos. 1, 4; Figures 1, 2	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In International Application No.

PCT/DE 99/01846

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9534141 A	14-12-1995	EP 0713620 A JP 9501558 T US 5600474 A	29-05-1996 10-02-1997 04-02-1997
EP 0716516 A	12-06-1996	US 5659412 A JP 8262513 A	19-08-1997 11-10-1996
FR 2758029 A	03-07-1998	CA 2247186 A EP 0853395 A WO 9829972 A	09-07-1998 15-07-1998 09-07-1998
US 5473457 A	05-12-1995	JP 2739813 B JP 7177088 A	15-04-1998 14-07-1995

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In nationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/01846

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04B10/135 H04B10/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 95 34141 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 14. Dezember 1995 (1995-12-14) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,5 ---	1,2,5,6, 22
A	EP 0 716 516 A (AT & T CORP) 12. Juni 1996 (1996-06-12) Zusammenfassung; Ansprüche 1,8; Abbildung 1 ---	1-3,5, 12,22
A	FR 2 758 029 A (ALSTHOM CGE ALCATEL) 3. Juli 1998 (1998-07-03) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Seite 2, Zeile 17 - Zeile 28 ---	1,2,5,22
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. November 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

02/12/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Goudelis, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In ☐ onales Aktenzeichen

PCT/DE 99/01846

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ²	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>US 5 473 457 A (ONO TAKASHI) 5. Dezember 1995 (1995-12-05) Zusammenfassung; Ansprüche 1,4; Abbildungen 1,2</p> <p>-----</p>	<p>1,2,5, 14,22</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In nationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/01846

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9534141 A	14-12-1995	EP 0713620 A	29-05-1996
		JP 9501558 T	10-02-1997
		US 5600474 A	04-02-1997
EP 0716516 A	12-06-1996	US 5659412 A	19-08-1997
		JP 8262513 A	11-10-1996
FR 2758029 A	03-07-1998	CA 2247186 A	09-07-1998
		EP 0853395 A	15-07-1998
		WO 9829972 A	09-07-1998
US 5473457 A	05-12-1995	JP 2739813 B	15-04-1998
		JP 7177088 A	14-07-1995